

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 700 506 B1

(12)

EUROPEAN PATENT SPECIFICATION

(45) Date of publication and mention
of the grant of the patent:
08.04.1998 Bulletin 1998/15

(21) Application number: **94917201.9**

(22) Date of filing: **24.05.1994**

(51) Int Cl.⁶: **G01B 11/00**

(86) International application number:
PCT/NO94/00096

(87) International publication number:
WO 94/28375 (08.12.1994 Gazette 1994/27)

(54) **METHOD FOR GEOMETRY MEASUREMENT**
VERFAHREN ZUR GEOMETRISCHEN MESSUNG
PROCEDE DE MESURE GEOMETRIQUE

(84) Designated Contracting States:
CH DE FR GB LI SE

(30) Priority: **24.05.1993 NO 931873**

(43) Date of publication of application:
13.03.1996 Bulletin 1996/11

(60) Divisional application: **97202880.7 / 0 829 701**

(73) Proprietor: **METRONOR AS**
1360 Nesbru (NO)

(72) Inventors:
• **PETTERSEN, Alf**
N-1346 Gjettem (NO)
• **R TVOLD, yvind**
N-1346 Hvalstad (NO)

(74) Representative: **Singleton, Jeffrey et al**
Eric Potter Clarkson
St. Mary's Court
St. Mary's Gate
Nottingham NG1 1LE (GB)

(56) References cited:
WO-A-89/09922 **WO-A-91/16598**

EP 0 700 506 B1

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid. (Art. 99(1) European Patent Convention).

Description

The present invention relates to a method, as well as a system for determination of relative position and/or orientation of a number of points or geometrical objects as planes, lines, holes, cylinders or spheres, or combined objects as robot arms or other industrial production equipment, based on the use of one or multiple cameras based on electro optical sensors in combination to fixed mounted light sources, projected light spots, illuminated reflectors or probing tools having light sources or reflectors attached to it.

The present patent application describes a further development of the inventions described by the inventors in Norwegian patents 165 046, 164 946 and 169 799, as well as patent application 913994.

Norwegian patent 165 046 describes a system based on two high resolution electro optical cameras which are calibrated for angle measurements, methods for such calibration, a system for geometry measurements based on the cameras, as well as application of this system.

Norwegian patent 164 946 describes systems for measurements of points on a surface, by projecting a pattern of light spots onto the surface, and by determining the coordinates for these light spots by the use of electro optical sensors.

Norwegian patent 169 799 describes tools for marking points on a surface, to be measured by the use of electro optical cameras.

Norwegian patent application 913994 describes a system for measurement of spatial coordinates by the use of a single electro optical camera as well as tools having light source or reflecting points attached to it.

The system that is described in Norwegian patent 165 046 has limitations related to the fact that each individual point is registered simultaneously by two cameras. That leads to requirements for simultaneous free visibility in directions to both cameras. Furthermore the system is based on determination of the position of the cameras by a separate procedure before coordinate measurements can be started. The system accuracy is basically determined by the resolution of the sensor. This means that the accuracy is limited in large volumes.

The system described in Norwegian patent application 913994 functions essentially as a theodolite, in that spatial directions are determined with high accuracy. In addition the distance to the measurement tool is determined with moderate accuracy. As a stand alone system it gives limited accuracy in distance determination, which means that the number of possible applications is limited.

The use of a probing tool having light sources is known from WO-A-91/16598.

The present patent application describes a further development of method and means for coordinate measurement that gives full flexibility with respect to:

- the number of cameras,
- whether the cameras are calibrated for direction measurements or not,
- the methods used for marking the measurement points,
- where, and in how many positions the cameras are located during the measurement process,
- which methods that are used to relate the measurements to a selected coordinate system.

By the use of this further development full flexibility to optimize the system and the method with respect to the measurement task in question, and to questions like accuracy requirements and exterior limitations like visibility limitations is achieved.

Regarding applications, the system is competing to existing technology like theodolites and conventional photogrammetry, as well as mechanical coordinate measurement machines.

Coordinate measuring machines have strongly limited functionality, as they are not portable and have a limited measurement volume. Large machines are very expensive, have low accuracy, and require dedicated rooms due to the need for stability and temperature control.

Theodolites have significant limitations related to operator dependencies (in conventional instruments an operator is aiming towards the measurement point through the monocular of the theodolite), time consuming measurements, and to strong requirement for free visibility between the measurement point and the instrument. In addition theodolites must be levelled accurately.

Conventional photogrammetry is limited to the use of film based cameras. The measurement points are marked by attaching reflecting measurement elements called targets, to the object. It is not possible to measure geometrical objects like holes, planes, spheres, lines, etc. without marking these by the use of targets.

Calculation of spatial coordinates based on theodolite measurements or conventional photogrammetry is done by iterative methods. Both measurement methods are two dimensional, i.e. they give the direction towards the measurement points only. Estimated spatial coordinates for a number of the measurement points are needed as initial values for the iterative calculations. The system described in Norwegian patent application 913994 gives spatial coordinates, which gives sufficiently accurate initial values for the similar calculations related to the present method and system.

Figure 1 illustrates camera and imaging of a light spot on the sensor of the camera.

Figure 2 illustrates the principle of coordinate determination from the imaging of a common point in two or more cameras.

Figure 3 illustrates the configuration of a complete measurement system.

Norwegian patent no. 165 046 describes a fully automatic and accurately calibrated angle sensor based on a CCD camera. Such a camera 1, as shown in figure 1, comprises essentially a camera house 2, a lens unit 3, and a two dimensional sensor matrix 4. The lens unit is an objective with standard, spherical optics. The angle sensor is developed to measure the direction towards points being active light sources or points illuminated by active light sources. This gives a secure identification of the measurement points, and hence enables a fully automatic use, as well as gives a very high signal to noise ratio. High accuracy is furthermore ensured by the use of accurate procedure for calibration of the angle sensor. This is described in Norwegian patent 165 046.

The measurement principle is illustrated in figure 2. The coordinates for a number of points 5 shall be determined relative to a spatial coordinate system X, Y, Z. This is done by locating two or more cameras 4 in arbitrary and initially unknown positions and orientations relative to the same coordinate system. The spatial direction to a point 5 is determined by registering its projection 6 through the projection center 7 of the lens unit as shown in figure 1 B. The projection is registered as the image coordinates x, y of the point image relative to a camera fixed coordinate system as illustrated in figure 2. The calculation of the unknown spatial coordinates is based on setting up the equations for the projections for a number of cameras. This calculation may also include determination of the position and orientation of the cameras, as well as including parameters for correction of possible lens distortions. This means that even non-calibrated cameras may be applied. Each additional point that is introduced in the calculation gives three additional unknown coordinates X, Y, Z to be determined, at the same time as 2 x n new observations are included in the calculation (n is the number of camera locations). The calculation requires the magnitude of at least one distance between two points to be known to give correct scale information to the system of equations.

The method of calculation is based on minimizing errors (least squares method), such that redundant information is used. The necessary mathematical foundation is found in H.M. Kamara (Ed.): Non-topographic photogrammetry. Second Edition, 1987, page 37-55.

Generally, if the number of unknown parameters is increased, a similarly increased number of observations as additional points or additional cameras/camera locations is required.

Figure 3 illustrates a system for spatial geometry measurements based on one or multiple cameras 1, 8, a system control unit 9 consisting of data processor 10, camera control unit 11 and light source control unit 12. The system can be attached to different light sources for marking points:

- Reference bar 14 comprising a number of light emitting diodes at known mutual separation distances.
 - Light pen 15, which is a probing tool described in Swedish patent no. 456 454, possibly having exchangeable tools as described in Norwegian patent no. 169 799.
 - Light emitting diodes and/or lasers 16. Light emitting diodes are attached permanently in the measurement field to be imaged from multiple camera locations. Lasers are used to project fixed light spots onto the measurement object. Light emitting diodes /lasers are connected to the system via a connector unit 17.
 - Reflecting points 18 which are illuminated by a lamp 19.
- Driving and control of the light sources is done by the control unit 12 to ensure optimum signal to noise ratio, and to synchronize to the cameras via the camera control unit 11.
- The systems data processor 10 is doing the analysis of measurement data from the cameras. The data processing mainly consist of:
- control of imaging time and exposure time to optimize the signal to noise ratio,
 - identification of the individual light sources, i.e. which point in the image that corresponds to which light source,
 - calculation of the spatial direction for each individual light source from the image information,
 - calculation of spatial coordinates for the probing tool (light pen).
- The user is communicating with the system via an operator terminal 13.
- In addition to the observations from the cameras, the method of calculation requires one or more known distances to give the correct scale to the calculated spatial coordinates. This can be achieved by the use of the specially designed reference bar 14, or by measuring points in a known separation distance. The length of the reference bar or the known distances may be typed in by the operator at the terminal 13.
- The present invention proposes to apply one or more cameras in combination with one or more types of light sources or illuminated reflecting points to achieve high flexibility to solve various measurement problems with respect to
- the dimension of the measurement volume,

- the accessibility to the measurement volume,
- definition of coordinate systems,
- accuracy requirements,
- available time for measurements,
- frequency of repeated controls,
- combination of different types of cameras and instruments for direction measurements.

The characteristic features of the invention are described in the accompanying patent claims, as well as in the following description of non-limiting examples of use of the invention, with reference to the enclosed drawings.

Figure 4 illustrates the further developed principle for the use of the probing tool "light pen".

Figure 5 illustrates how to establish and measure a network of help reference points.

Figure 6 illustrates measurement of a number of geometrical objects based on a number of help reference points.

Figure 7 illustrates an application based on a transportable reference structure /pallet.

Figure 8 illustrates a permanent measurement station based on a reference structure.

Figures 9 and 10 show examples of use of the method of the invention.

The computation method that is described above and that is related to figure 2, is based on the possibility of seeing the same point from a number of different camera positions. Generally light sources, generated by direct emission from a light emitting diode or indirect as a reflection from a reflecting material or a projected laser spot, can be seen from "one side" only. Optimum accuracy in the computation method is achieved if the directions of observations are uniformly distributed. This is achieved by the light pen.

The light pen 15 that by itself is known from Norwegian patent application 913994, is in this context used differently as only the direction to the touch point of the light pen is to be registered and to be used for coordinate determination. The principle for use of the light pen is shown in figure 4. The light pen is registered on the sensor as a number of image spots 6 corresponding to the light emitting diodes 5. The direction to the light pen should be related to a touch point 20. This corresponds to an image point 21 on the sensor. As the sensor is registering the image of light sources only, this will be a

virtual image spot. The image coordinates of the image point 21 will be calculated from the registered image coordinates for each light source, as well the knowledge of the mutual position of the light sources 5 and the touch point 20 in a probe fixed, local coordinate system. The calculation methods are further described in Norwegian patent application 913994.

If the touch point of the light pen is kept in a fixed position, the light pen itself can be rotated to be aimed towards the different camera positions in question. Hence, this gives the necessary geometry for the computation method. The fact that the light pen has a number of light emitting diodes makes the accuracy in determining the projection of the touch point better than for a single light emitting diode.

Figure 5 illustrates the use of the system to determine the geometry of an object 22. The positions of a number of points or geometrical objects (holes, planes, cylinders etc.), in the figure marked with capital letters A - C, are to be determined with high accuracy relative to the resolution of the cameras, the size of the measurement volume, its accessibility etc. The method consist of distributing a number of help reference points (in the figure marked with lower case letters a - u) all over the measurement volume. These can be light emitting diodes, projected laser spots, reflecting points or marked points that can be touched with the light pen. By registering the projection of these points on the camera sensors for a number of different camera locations, this will give data for calculation of the mutual position of all points, as described above with reference to figure 2. The computation is flexible with respect to:

- the number of cameras or camera locations,
- the number of points observed in each camera location (a minimum number is required, depending on the number of camera parameters to be determined),
- the number of observations for each individual point.

In general the accuracy is improved if the number of observations (points) in each camera location is increased, and if the number of camera locations is increased. A single camera or multiple cameras can be used. If the cameras are not calibrated with respect to the imaging properties of the lens, it is advantageous to have as few different cameras as possible.

If, on the other hand, it is necessary to do the measurements fast, the data acquisition can be made efficient by using multiple, calibrated cameras in fixed locations, and by using as few locations and points as possible.

The relation to an object fixed coordinate system requires some points that are defining the coordinate system by their coordinate values being known along one or more of the coordinate axes, or by doing a best

fit of defined values to the calculated positions.

Figure 6 illustrates how to start from a number of points in known positions relative to an object fixed coordinate system and then to measure additional points within or outside the object by the use of two or more cameras. If a network of points is available, as shown by letters a - u, it is possible by the use of only two cameras 1, 8 to locate these such that they are seeing not more than the area of interest. At first the position and orientation of the cameras relative to the object fixed coordinate system are determined by registering the projection of the known points a, b, c. The coordinates of these points relative to the coordinate system X, Y are known from a measurement as described above with reference to figure 5. This method gives a quick measurement, having a high accuracy.

An application of this method is illustrated in figure 7 a, b, which as an example may describe a welding station in a production line for car bodies as shown in figure 8 a, b. The under part of the car body is based on a fixture 24, while the side parts of the car body are held in place by fixtures 23. The mount of the car body parts to the fixtures are made by the use of steering pins and clamping mechanisms 27. These are controlling the location of each different component during the welding process, and have to be in the correct location to ensure correct shape of the assembled car body. Control of each individual object is efficiently made by the method described above (figure 6) by having a number of fixed help reference points distributed all over the whole station. An alternate solution is shown in figure 7 a, where the help reference points a - u are attached to a portable jig 24 that can be moved into the station when a measurement is to be made. The location of this jig is in such a case controlled by the main references 25, 26 of the station (e.g. steering pins) that are holding the jig in a fixed position. The positions and orientations of the two cameras 1, 8 relative to the object fixed coordinate system are first determined by registering the directions towards the known points a - u. The advantages of this method is that each individual station in the whole production line is based on a single jig with a fixed and well known geometry, such that a unique, accurate geometry is ensured all along the production line. Hence, the error propagation through the production line is kept to a minimum. Furthermore, it will not be necessary to have an extensive network of points in each individual station.

Figure 9 shows another application of the same principle. In this case the reference points are fixedly mounted in a structure 28, while the object 29 to be measured is transported into this structure. As an example this method can be applied in a production line based on transportable jigs for transport of components into the welding stations. Control of these jigs on a regular basis can be done in fixed measurement stations.

Figure 10 shows an example of this, where the object 30 is an aircraft that is brought to a measurement station where the reference points are placed on the

floor or in a surrounding fixture.

The system known per se shown in figure 3 must, to cover the methods described above, be extended with respect to the data processor 10, the camera control unit 11 and the light source control unit 12. In this context it is required that these units shall be able to take into account:

- different types and number of cameras,
- different types and number of light sources and help tools,
- different calculation methods depending on the configuration of cameras and light sources that are used and which type of known information (defined coordinate values in a local coordinate system or given distances between points) that should be included in the calculation.

Some examples of applications are described above. These shall be considered as examples only, as a large number of different other objects may be measured by the same methods and the same system. This includes large as well as small objects within automotive, aerospace or other mechanical industry.

Claims

1. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed, movable or replaceable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, based on optical measurements utilizing one or more cameras based on electro optical sensors in combination to fixedly mounted light sources, illuminated reflectors, or probing tools having light sources or reflectors attached thereto in known positions relative to the touch point of the probing tool, characterized in
 - that a network of help reference points consisting of additional measurement points like active light sources, reflecting points or points to be measured utilizing said probing tool, as well as existing fixed points or geometrical objects which positions can be related to a physical point, is established for the purpose of achieving a sufficient density of said help reference points and thereby to improve the accuracy of the calculation of the positions and orientations of all points, or to simplify the final adjustment and control process,
 - that initially a measurement of the position of all points in said network is made, said meas-

urement being done by

- location of one or more cameras in a number of camera positions, such that for every camera position all or part of the measurement volume is within the field of view of one or more cameras, and that the following registrations are made for each camera position:
 - the positions of fixedly mounted light sources or light reflecting points are registered by their image on the sensors of said cameras, and whereby the position of the image is given as coordinates related to a camera fixed coordinate system,
 - the positions of fixed points or geometrical objects which positions can be related to a physical point, are registered by holding said probing tool in contact with the point and the image of the touch point on the sensor of the camera is calculated from the observed images of the light sources or reflecting points of the probing tool,
- repeating this for a number of camera locations such that all points are registered in a minimum of two camera positions,
- having among the relevant measurement points at least two points for which the mutual separation distance is known, to be used to determine the correct length scale,
- calculating the positions of each point relative to an arbitrary spatial coordinate system by bundle adjustment, wherein the calculation method may also include a mathematical modelling of the optical properties of the cameras to be used to compensate for image distortions occurring through the camera lens, and storing said positions in a data base for later use, and
- that the positions and orientations of additional fixed or moveable points and geometrical objects thereafter are determined and may be adjusted by:
 - locating a minimum of two cameras such that a minimum of three points or geometrical objects in known positions are within their field of view, as well as one or more points or geometrical objects for which the positions and / or orientations are to be de-

terminated,

- determining the position and orientation of the cameras from the already known point positions by registering the images of said points on the sensors of the cameras in the relevant camera positions by the method described above, and thereafter calculating the positions and orientations by the use of bundle adjustments,
- determining the unknown positions and orientations of subsequent points and geometrical objects based on the known position and orientation of the cameras relative to the known network points by the following methods depending on which type of point or geometrical object to be measured:
 - fixedly mounted, or moveable light sources or light reflecting points are registered by their image on the sensor of the cameras, whereby the image points are given as coordinates related to a camera fixed coordinate system, and their spatial positions relative to the positions of the known points are determined by bundle adjustment based on the image points as well as the position and orientation of the cameras,
 - the positions of selected points are determined by holding said probing tool in contact with the point, and the light sources or reflecting points of said probing tool are registered by the camera sensors, whereby the image points are given as coordinates relative to a camera fixed coordinate system, and whereby the spatial position of the touch point relative to the positions of the known points is determined by bundle adjustment based on the image points as well as the position and orientation of the cameras, as well as information on the position of the touch point relative to the light sources or reflecting points of the probing tool,
 - the positions and orientations of geometrical objects are calculated from the positions of a number of points on the object, as well as a mathematical description of the relevant geometrical objects,

- adjusting, if necessary, the relevant point or geometrical object in a controlled way by measuring its position and orientation during and after the adjustment process, until the deviation between measured and nominal values are within acceptable limits. 5
2. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in claim 1, characterized in 10
- that a number of the fixed points or geometrical objects are defining an object fixed coordinate system such that the position and orientation of all points and geometrical objects, including all help reference points, are determined relative to that coordinate system through a coordinate transformation. 15 20
3. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in claim 1, characterized in 25
- that the scale information needed for a calculation of positions is achieved by arranging one or more reference bars within the measurement volume, said reference bars comprising in a known mutual separation distance a minimum of two light sources, reflecting points or fixed points that can be measured by utilizing said probing tool. 30 35
4. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in claim 1, characterized in 40 45
- that the position of a number of help reference points, fixed points or geometrical objects are known and stored in a database, such that control and adjustment of additional fixed, moveable or replaceable points or geometrical objects can take place directly by: 50
 - locating a minimum of two cameras such that a minimum of three points or geometrical objects in known positions are within their field of view, as well as one or more points or geometrical objects for which the positions and / or orientations are to be de- 55

terminated,

- determining the position and orientation of the cameras from the already known point positions by registering the images of said points on the sensors of the cameras in the relevant camera positions by the method described above, and thereafter calculating the positions and orientations by the use of bundle adjustments,
- determining the unknown positions and orientations of subsequent points and geometrical objects based on the known position and orientation of the cameras relative to the known network points by the following methods depending on which type of point or geometrical object to be measured:
 - permanently fixedly mounted, or moveable light sources or light reflecting points are registered by their image on the sensor of the cameras, whereby the image points are given as coordinates related to a camera fixed coordinate system, and their spatial positions relative to the positions of the known points are determined by bundle adjustment based on the image points as well as the position and orientation of the cameras,
 - the positions of selected points are determined by holding said probing tool in contact with the point, and the light sources or reflecting points of said probing tool are registered by the camera sensors, whereby the image points are given as coordinates relative to a camera fixed coordinate system, and whereby the spatial position of the touch point relative to the positions of the known points is determined by bundle adjustment based on the image points as well as the position and orientation of the cameras, as well as information on the position of the touch point relative to the light sources or reflecting points of the probing tool,
 - the positions and orientations of geometrical objects are calculated from the positions of a number of points on the object, as well as a mathematical description of the relevant geometrical objects.

5. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in anyone of claims 1 - 4,

characterized in

- that said help reference points are attached to a moveable object that can be brought to the measurement volume where control of points and geometrical objects is to take place, and where the positions and / or orientations of these can be determined directly by utilizing the known position of the help reference points.

6. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in claim 5,

characterized in

- that said points or geometrical objects are location and holding devices in different stations in a production line for production of cars or trucks, and where said object which has help reference points attached to it can be moved from station to station to ensure that all stations are controlled and adjusted on basis of the same set of known points.

7. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in anyone of claims 1 - 4,

characterized in

- that said help reference points are fixedly located within a measurement volume, and where the points and geometrical objects which should be controlled and adjusted are attached to an object that can be brought to said measurement volume, where their positions and / or orientations can be determined directly based on the known positions of the help reference points.

8. Method for controlling the relative or absolute position and / or orientation of a number of fixed or movable points or geometrical objects like planes, lines, holes, cylinders or spheres within a limited measurement volume, as claimed in claim 7,

characterized in

- that said points or geometrical objects are con-

trol points on produced parts like cars, trucks, aircraft, trains etc., or parts or subassemblies for these, and where said measurement volume with permanently mounted help reference points are used for a quick determination of the camera locations. and hence for a quick control of the relevant control points.

10 Patentansprüche

1. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester, beweglicher oder ersetzbarer Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Kugeln innerhalb eines begrenzten Meßvolumens, gestützt auf optische Messungen unter Verwendung einer oder mehr Kameras, gestützt auf elektrooptische Sensoren in Kombination mit fest montierten Lichtquellen, beleuchteten Reflektoren oder Meßfühlerinstrumenten mit Lichtquellen oder Reflektoren, die an bekannten Positionen bezüglich des Berührungspunktes des Meßfühlerinstruments daran angebracht sind, dadurch gekennzeichnet, daß

- ein Netz von Hilfsreferenzpunkten, bestehend aus zusätzlichen Meßpunkten wie aktiven Lichtquellen, reflektierenden Punkten oder Punkten, die unter Verwendung des Meßfühlerinstruments gemessen werden sollen, und auch vorhandenen festen Punkten oder geometrischen Objekten, deren Positionen auf einen physikalischen Punkt bezogen werden können, zu dem Zweck eingerichtet ist, eine ausreichende Dichte der Hilfsreferenzpunkte zu erreichen und dadurch die Genauigkeit der Berechnung der Positionen und Orientierung aller Punkte zu verbessern oder die endgültige Einstellung und den Kontrollprozeß zu vereinfachen,
- zu Anfang eine Messung der Position aller Punkte in dem Netz vorgenommen wird, wobei die Messung durchgeführt wird durch
- Anordnen einer oder mehr Kameras in einer Anzahl von Kamerapositionen derart, daß für jede Kameraposition das ganze oder ein Teil des Meßvolumens innerhalb des Sichtfeldes einer oder mehr Kameras ist und daß die folgenden Registrierungen für jede Kameraposition gemacht werden:
- die Positionen fest montierter Lichtquellen oder Licht reflektierender Punkte werden durch ihr Bild auf den Sensoren der Kameras registriert, und

dadurch ist die Position des Bildes als auf ein kamerafestes Koordinatensystem bezogene Koordinaten gegeben,

- die Positionen fester Punkte oder geometrischer Objekte, deren Positionen auf einen physikalischen Punkt bezogen werden können, werden registriert, indem das Meßfühlerinstrument mit dem Punkt in Kontakt gehalten wird, und das Bild des Berührungspunktes auf dem Sensor der Kamera wird aus den beobachteten Bildern der Lichtquellen oder reflektierenden Punkte des Meßfühlerinstruments berechnet, 5 10 15
- Wiederholen dieses Vorgangs für eine Anzahl von Kamerastellen, so daß alle Punkte in mindestens zwei Kamerapositionen registriert werden, 20
- Vorsehen zumindest zweier Punkte unter den relevanten Meßpunkten, für die der wechselseitige Trennungsabstand bekannt ist, um zur Bestimmung der korrekten Längenskala verwendet zu werden, 25
- Berechnen der Positionen jedes Punktes bezüglich eines willkürlichen räumlichen Koordinatensystems durch eine Bündel-einstellung (engl. bundle adjustment), worin das Berechnungsverfahren auch ein mathematisches Modellieren der optischen Eigenschaften der Kameras, die verwendet werden sollen, um durch die Kameralinse auftretende Bildverzerrungen zu kompensieren, und Speichern der Positionen in einer Datenbank für eine spätere Verwendung einschließt, und 30 35 40
- die Positionen und Orientierungen zusätzlicher fester oder beweglicher Punkte und geometrischer Objekte danach bestimmt werden und eingestellt werden können durch: 45
 - Anordnen von mindestens zwei Kameras derart, daß mindestens drei Punkte oder geometrische Objekte in bekannten Positionen innerhalb ihres Sichtfeldes sind, und auch ein oder mehr Punkte oder geometrische Objekte, für die die Positionen und/oder Orientierungen bestimmt werden sollen, 50
 - Bestimmen der Position und Orientierung der Kameras aus den schon bekannten Punktpositionen, indem die Bilder der 55

Punkte auf den Sensoren der Kameras in den relevanten Kamerapositionen durch das oben beschriebene Verfahren registriert werden und danach die Positionen und Orientierungen durch die Verwendung von Bündeleinstellungen berechnet werden,

- Bestimmen der unbekannten Positionen und Orientierungen folgender Punkte und geometrischer Objekte, gestützt auf die bekannte Position und Orientierung der Kameras bezüglich der bekannten Netzpunkte, durch die folgenden Verfahren in Abhängigkeit davon, welcher Typ eines Punktes oder geometrischen Objekts gemessen werden soll:
 - fest montierte oder bewegliche Lichtquellen oder Licht reflektierende Punkte werden durch ihr Bild auf dem Sensor der Kameras registriert, wodurch die Bildpunkte als auf ein kamerafestes Koordinatensystem bezogene Koordinaten gegeben sind, und ihre räumlichen Positionen bezüglich der Positionen der bekannten Punkte werden durch eine Bündeleinstellung gestützt auf die Bildpunkte und auch die Position und Orientierung der Kameras bestimmt,
 - die Positionen ausgewählter Punkte werden bestimmt, indem das Meßfühlerinstrument mit dem Punkt in Kontakt gehalten wird, und die Lichtquellen oder reflektierenden Punkte des Meßfühlerinstruments werden durch die Kamerasensoren registriert, wodurch die Bildpunkte als Koordinaten bezüglich eines kamerafesten Koordinatensystems gegeben sind und wodurch die räumliche Position des Berührungspunktes bezüglich der Positionen der bekannten Punkte durch eine Bündeleinstellung gestützt auf die Bildpunkte und auch die Position und Orientierung der Kameras sowie eine Information über die Position des Berührungspunktes bezüglich der Lichtquellen oder reflektierenden Punkte des Meßfühlerinstruments bestimmt wird,
 - die Positionen und Orientierungen geometrischer Objekte werden aus den Positionen einer Anzahl von Punkten auf dem Objekt berechnet, und auch eine mathemati-

sche Beschreibung der relevanten geometrischen Objekte,

- Einstellen, falls notwendig, des relevanten Punktes oder geometrischen Objekts in kontrollierter Weise, indem dessen Position und Orientierung während des Einstellungsprozesses und danach gemessen werden, bis die Abweichung zwischen gemessenen und Sollwerten innerhalb akzeptabler Grenzen liegt. 5 10
- 2. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach Anspruch 1, 15
dadurch gekennzeichnet, daß
 - eine Anzahl der festen Punkte oder geometrischen Objekte ein objektfestes Koordinatensystem so definieren, daß die Position und Orientierung aller Punkte und geometrischer Objekte einschließlich aller Hilfsreferenzpunkte bezüglich dieses Koordinatensystems durch eine Koordinatentransformation bestimmt werden. 20 25
- 3. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach Anspruch 1, 30
dadurch gekennzeichnet, daß
 - die für eine Berechnung von Positionen benötigte Skaleninformation erhalten wird, indem ein oder mehr Referenzstreifen innerhalb des Meßvolumens angeordnet werden, wobei die Referenzstreifen in einem bekannten wechselseitigen Trennungsabstand mindestens zwei Lichtquellen, reflektierende Punkte oder feste Punkte aufweisen, die durch Verwenden des Meßfühlerinstruments gemessen werden können. 35 40 45
- 4. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach Anspruch 1, 50
dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Positionen einer Anzahl von Hilfsreferenzpunkten, festen Punkten oder geometrischen Objekten bekannt und in einer Datenbank gespeichert sind, so daß eine Kontrolle und Ein- 55

stellung zusätzlicher fester, beweglicher oder ersetzbarer Punkte oder geometrischer Objekte direkt stattfinden kann durch:

- Anordnen von mindestens zwei Kameras derart, daß mindestens drei Punkte oder geometrische Objekte an bekannten Positionen innerhalb ihres Sichtfeldes sind, und auch ein oder mehr Punkte oder geometrische Objekte, für die die Positionen und/oder Orientierungen bestimmt werden sollen, 5
- Bestimmen der Position und Orientierung der Kameras aus den schon bekannten Punktpositionen, indem die Bilder der Punkte auf den Sensoren der Kameras in den relevanten Kamerapositionen durch das oben beschriebene Verfahren registriert und danach die Positionen und Orientierungen durch die Verwendung von Bündeleinstellungen berechnet werden, 10
- Bestimmen der unbekannten Positionen und Orientierungen folgender Punkte und geometrischer Objekte, gestützt auf die bekannte Position und Orientierung der Kameras bezüglich der bekannten Netzpunkte, durch die folgenden Verfahren in Abhängigkeit davon, welcher Typ eines Punktes oder geometrischen Objekts gemessen werden soll:
 - permanent fest montierte oder bewegliche Lichtquellen oder Licht reflektierende Punkte werden durch ihr Bild auf dem Sensor der Kameras registriert, wodurch die Bildpunkte als auf ein kamerafestes Koordinatensystem bezogene Koordinaten gegeben sind, und ihre räumlichen Positionen bezüglich der Positionen der bekannten Punkte werden durch Bündeleinstellungen gestützt auf die Bildpunkte und auch die Position und Orientierung der Kameras bestimmt, 15
 - die Positionen ausgewählter Punkte werden bestimmt, indem das Meßfühlerinstrument mit dem Punkt in Kontakt gehalten wird, und die Lichtquellen oder reflektierenden Punkte des Meßfühlerinstruments werden durch die Kamerasensoren registriert, wodurch die Bildpunkte als Koordinaten bezüglich eines kamerafesten Koordinatensystems gegeben sind, und wodurch die räumliche Position des Be- 20

rührungspunktes bezüglich der Positionen der bekannten Punkte durch eine Bündeleinstellung gestützt auf die Bildpunkte und auch die Position und Orientierung der Kameras sowie eine Information über die Position des Berührungspunktes bezüglich der Lichtquellen oder reflektierenden Punkte des Meßfühlerinstruments bestimmt wird,

- die Positionen und Orientierungen geometrischer Objekte werden aus den Positionen einer Anzahl von Punkten auf dem Objekt berechnet, und auch eine mathematische Beschreibung der relevanten geometrischen Objekte.

5. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach einem der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Hilfsreferenzpunkte an einem beweglichen Objekt angebracht sind, das zu dem Meßvolumen gebracht werden kann, wo eine Kontrolle von Punkten und geometrischen Objekten stattfinden soll und wo die Positionen und/oder Orientierungen dieser durch Verwenden der bekannten Position der Hilfsreferenzpunkte direkt bestimmt werden können.

6. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Punkte oder geometrischen Objekte Anordnungs- und Haltevorrichtungen in verschiedenen Stationen in einer Fertigungsstraße zur Herstellung von Autos oder Lastwagen sind und wo das Objekt, das an ihm angebrachte Hilfsreferenzpunkte aufweist, von Station zu Station bewegt werden kann, um sicherzustellen, daß alle Stationen auf der Grundlage des gleichen Satzes bekannter Punkte kontrolliert und eingestellt werden.

7. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometri-

scher Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach einem der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Hilfsreferenzpunkte innerhalb eines Meßvolumens fest angeordnet sind und wo die Punkte und geometrischen Objekte, die kontrolliert und eingestellt werden sollen, an einem Objekt angebracht sind, das zu dem Meßvolumen gebracht werden kann, wobei ihre Positionen und/oder Orientierungen gestützt auf die bekannten Positionen der Hilfsreferenzpunkte direkt bestimmt werden können.

8. Verfahren zum Kontrollieren der relativen oder absoluten Position und/oder Orientierung einer Anzahl fester oder beweglicher Punkte oder geometrischer Objekte wie Ebenen, Linien, Löcher, Zylinder oder Sphären innerhalb eines begrenzten Meßvolumens nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Punkte oder geometrischen Objekte Kontrollpunkte auf hergestellten Teilen wie Autos, Lastwagen, Flugzeuge, Eisenbahnzüge etc. oder Teile oder Untergruppen für diese sind, und wo das Meßvolumen mit permanent angebrachten Hilfsreferenzpunkten für eine schnelle Bestimmung der Kamerastellen und daher für eine schnelle Kontrolle der relevanten Kontrollpunkte verwendet wird.

35 Revendications

1. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes, mobiles ou remplaçables tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, basé sur des mesures optiques utilisant une ou plusieurs caméras basées sur des détecteurs électro-optiques en association avec des sources de lumière montées de manière fixe, des réflecteurs illuminés ou des outils de sondage comportant des sources de lumière ou des réflecteurs fixés à ceux-ci, dans des positions connues par rapport au point de contact de l'outil de sondage, caractérisé

- en ce qu'un réseau de points de référence d'aide constitués de points de mesure supplémentaires, tels que des sources de lumière actives, des points de réflexion ou des points destinés à être mesurés en utilisant ledit outil de sondage, ainsi que des points fixes existants ou des objets géométriques dont les positions peuvent être liées à un point physique, est éta-

bli dans le but d'obtenir une densité suffisante desdits points de référence d'aide et d'améliorer ainsi la précision du calcul des positions et orientations de tous les points, ou de simplifier le réglage final et le processus de contrôle, 5

- en ce que, initialement, une mesure de la position de tous les points dans ledit réseau est effectuée, ladite mesure étant effectuée par

- disposition d'une ou plusieurs caméras dans - un certain nombre de positions de caméras, de façon que pour chaque position de caméra, la totalité ou une partie du volume de mesure se trouve à l'intérieur du champ de vision d'une ou de plusieurs caméras, et que les repérages suivants soient effectués pour chaque position de caméra : 10

- les positions des sources de lumière montées de manière fixe ou des points de réflexion de lumière sont repérées par leur image sur les détecteurs desdites caméras, et de façon que la position de l'image soit donnée sous forme de coordonnées liées à un système fixe de coordonnées de caméra, 15
- les positions de points ou d'objets géométriques fixes dont les positions peuvent être liées à un point physique, sont repérées en maintenant ledit outil de sondage en contact avec le point et l'image du point de contact sur le détecteur de la caméra est calculée d'après les images observées des sources de lumière ou des points de réflexion de l'outil de sondage, 20

- répétition de ceci pour un certain nombre d'emplacements de caméra, de façon que tous les points soient repérés avec un minimum de deux positions de caméra, 25
- obtention parmi les points de mesure correspondants d'au moins deux points pour lesquels la distance de séparation mutuelle est connue, à utiliser pour déterminer l'échelle de longueur convenable, 30
- calcul des positions de chaque point par rapport à un système de coordonnées spatiales arbitraire par réglage de paquets, dans lequel le procédé de calcul peut également comprendre une modélisation mathématique des propriétés optiques des caméras à utiliser pour compenser les déformations d'image apparaissant à travers la lentille de caméra, et stockage desdites positions dans une base de données pour utilisation ultérieure, et 35

- en ce que les positions et orientations de points et d'objets géométriques supplémentaires fixes ou mobiles sont ensuite déterminées et peuvent être réglées par :

- disposition d'un minimum de deux caméras de façon qu'un minimum de trois points ou objets géométriques dans des positions connues se trouvent à l'intérieur de leur champ de vision, ainsi qu'un ou plusieurs points ou objets géométriques pour lesquels les positions et/ou orientations doivent être déterminées, 40
- détermination de la position et de l'orientation des caméras par rapport aux positions de points déjà connues en repérant les images desdits points sur les détecteurs des caméras dans les positions de caméras correspondantes par le procédé décrit ci-dessus, puis calcul des positions et orientations grâce à l'utilisation de réglages de paquets, 45
- détermination des positions et orientations inconnues de points et d'objets géométriques suivants, basée sur les positions et orientations connues des caméras par rapport aux points de réseau connus par les procédés suivants, en fonction du type de point ou d'objet géométrique à mesurer :

- des sources de lumière ou points de réflexion de lumière montés de manière fixe ou mobile sont repérés par leur image sur le détecteur des caméras, de façon que les points d'image soient donnés sous forme de coordonnées liées à un système fixe de coordonnées de caméra, et leurs positions spatiales par rapport aux positions des points connus sont déterminées par réglage de paquets basé sur les points d'image ainsi que la position et l'orientation des caméras, 50
- les positions de points sélectionnés sont déterminées en maintenant ledit outil de sondage en contact avec le point, et les sources de lumière ou points de réflexion dudit outil de sondage sont repérés par les détecteurs de caméra, de façon que les points d'image soient donnés sous forme de coordonnées par rapport à un système fixe de coordonnées de caméra et de façon que la position spatiale du point de contact par rapport aux positions des points connus soit déterminée par réglage de paquets sur la base des points d'image ainsi que de la position 55

- et l'orientation des caméras, ainsi que des informations concernant la position du point de contact par rapport aux sources de lumière ou points de réflexion de l'outil de sondage, 5
- les positions et orientations des objets géométriques sont calculées d'après les positions d'un certain nombre de points sur l'objet, ainsi qu'une description mathématique des objets géométriques correspondants, 10
 - réglage, si nécessaire, du point ou objet géométrique correspondant d'une manière contrôlée, en mesurant ses position et orientation, pendant et après le processus de réglage, jusqu'à ce que l'écart entre les valeurs mesurée et nominale se trouve à l'intérieur de limites acceptables. 15 20
2. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon la revendication 1, caractérisé 25
- en ce qu'un certain nombre des points ou objets géométriques fixes définissent un système fixe de coordonnées d'objets tel que la position et l'orientation de tous les points et objets géométriques, y compris tous les points de référence d'aide, soient déterminées par rapport à ce système de coordonnées par l'intermédiaire d'une transformation de coordonnées. 30 35
3. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon la revendication 1, caractérisé 40
- en ce que les informations d'échelle nécessaires pour un calcul de positions sont obtenues en agencant une ou plusieurs barres de référence à l'intérieur du volume de mesure, lesdites barres de référence comprenant dans une distance de séparation mutuelle connue un minimum de deux sources de lumière, points de réflexion ou points fixes, pouvant être mesurés en utilisant ledit outil de sondage. 45 50
4. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon la re- 55

vendication 1, caractérisé

- en ce que les positions d'un certain nombre de points de référence d'aide, points ou objets géométriques fixes sont connues et stockées dans une base de données, de façon que le contrôle et le réglage de points ou objets géométriques supplémentaires fixes, mobiles ou remplaçables, puissent s'effectuer directement par :
 - disposition d'un minimum de deux caméras de façon qu'un minimum de trois points ou objets géométriques dans des positions connues se trouvent à l'intérieur de leur champ de vision, ainsi qu'un ou plusieurs points ou objets géométriques pour lesquels les positions et/ou orientations doivent être déterminées,
 - détermination de la position et de l'orientation des caméras à partir des positions de points déjà connues en repérant les images desdits points sur les détecteurs des caméras dans les positions de caméras correspondantes par le procédé décrit ci-dessus, puis calcul des positions et orientations par utilisation de réglages de paquets,
 - détermination des positions et orientations inconnues de points et d'objets géométriques suivants, basées sur les positions et orientations connues des caméras par rapport aux points de réseau connus par les procédés suivants, en fonction du type de point ou objet géométrique à mesurer :
 - des sources de lumière ou points de réflexion de lumière montés de façon permanente de manière fixe ou mobiles sont repérés par leur image sur le détecteur des caméras, de façon que les points d'image soient donnés sous forme de coordonnées liées à un système fixe de coordonnées de caméra, et leurs positions spatiales par rapport aux positions des points connus sont déterminées par réglage de paquets basé sur les points d'image ainsi que la position et l'orientation des caméras,
 - les positions de points sélectionnés sont déterminées en maintenant ledit outil de sondage en contact avec le point, et les sources de lumière ou points de réflexion dudit outil de sondage sont repérés par les détecteurs de caméra, de façon que les points d'image soient donnés sous forme de

- coordonnées par rapport à un système fixe de coordonnées de caméra et de façon que la position spatiale du point de contact par rapport aux positions des points connus soit déterminée par réglage de paquets sur la base des points d'image ainsi que la position et l'orientation des caméras, ainsi que des informations concernant la position du point de contact par rapport aux sources de lumière ou points de réflexion de l'outil de sondage,
- les positions et orientations des objets géométriques sont calculées d'après les positions d'un certain nombre de points sur l'objet, ainsi qu'une description mathématique des objets géométriques correspondants.
5. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé
- en ce que lesdits points de référence d'aide sont liés à un objet mobile pouvant être amené vers le volume de mesure où le contrôle de points et objets géométriques doit s'effectuer, et où les positions et/ou orientations de ceux-ci peuvent être déterminées directement en utilisant la position connue des points de référence d'aide.
6. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon la revendication 5, caractérisé
- en ce que lesdits points ou objets géométriques sont des dispositifs de disposition et de maintien dans des postes différents sur une ligne de production d'automobiles ou de camions, et où ledit objet comportant des points de référence d'aide liés à celui-ci peut être déplacé de poste en poste pour assurer que tous les postes sont contrôlés et réglés sur la base du même ensemble de points connus.
7. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité, selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé
- en ce que lesdits points de référence d'aide sont situés de manière fixe à l'intérieur d'un volume de mesure, et où les points et objets géométriques devant être contrôlés et réglés sont liés à un objet pouvant être amené dans ledit volume de mesure, où leurs positions et/ou orientations peuvent être déterminées directement sur la base des positions connues des points de référence d'aide.
8. Procédé pour contrôler la position et/ou l'orientation relative ou absolue d'un certain nombre de points ou d'objets géométriques fixes ou mobiles tels que des plans, lignes, trous, cylindres ou sphères, à l'intérieur d'un volume de mesure limité selon la revendication 7, caractérisé
- en ce que lesdits points ou objets géométriques sont des points de contrôle sur des pièces produites telles que des automobiles, camions, avions, trains, etc., ou des parties ou sous-ensembles pour ceux-ci, et où ledit volume de mesure avec des points de référence d'aide montés de façon permanente sont utilisés pour une détermination rapide des emplacements de caméras, et ainsi pour un contrôle rapide des points de contrôle correspondants.

Fig. 1a. (Prior art)

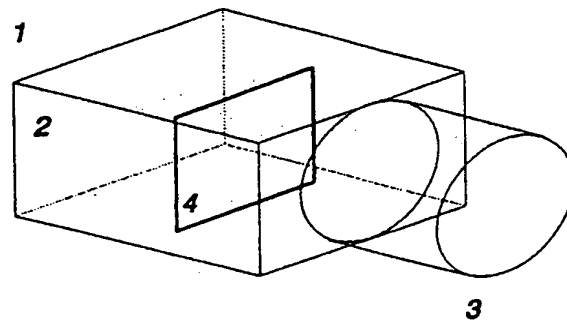


Fig. 1b. (Prior art)

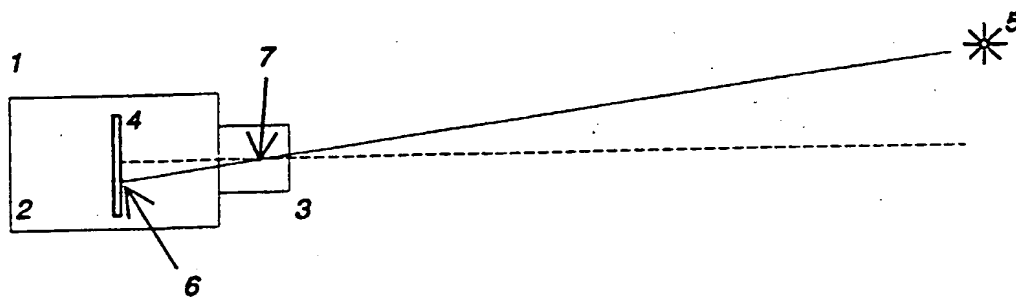


Fig. 2 (Prior art)

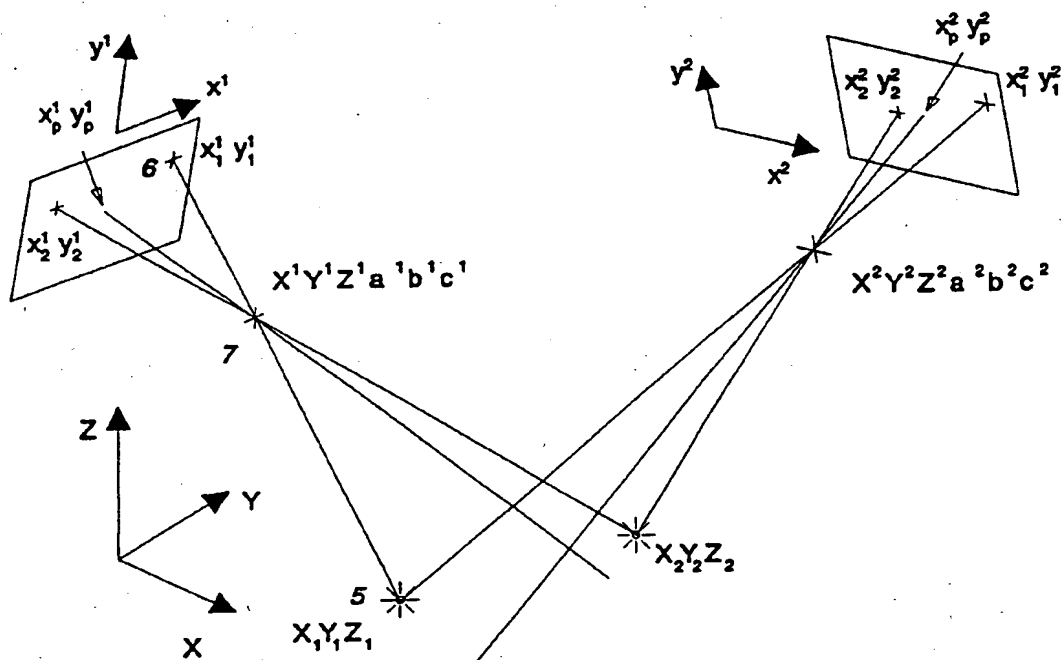


Fig. 3

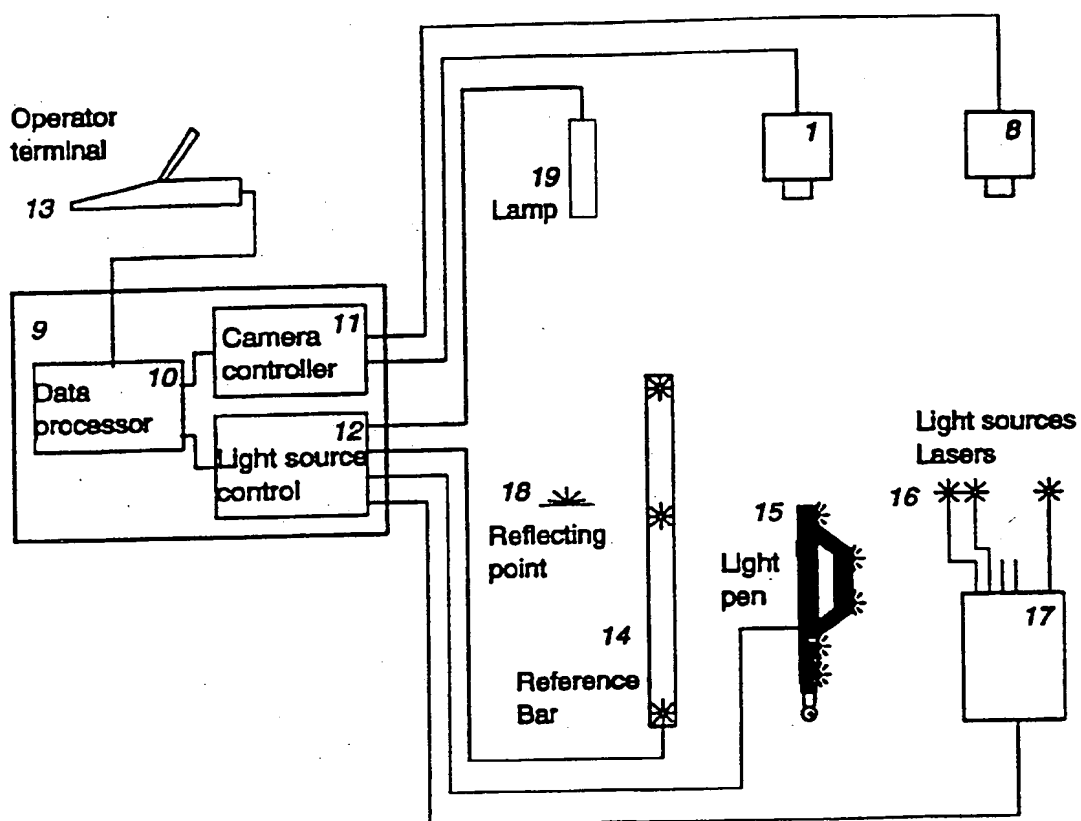


Fig. 4a

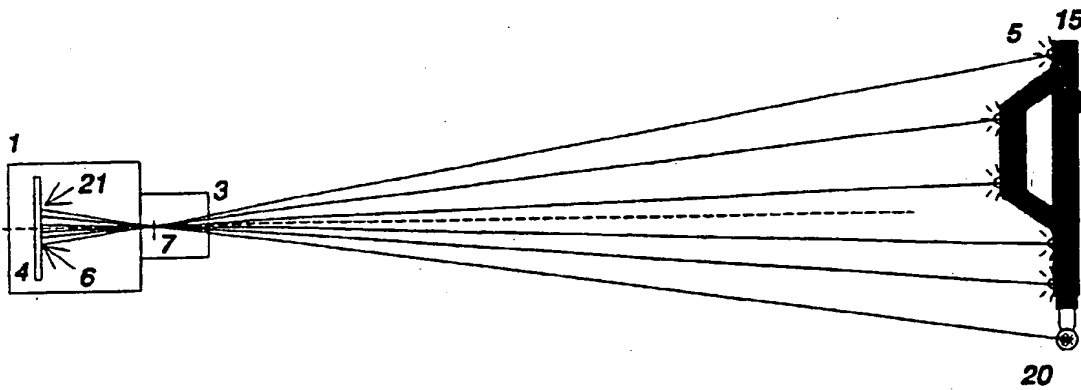


Fig. 4b

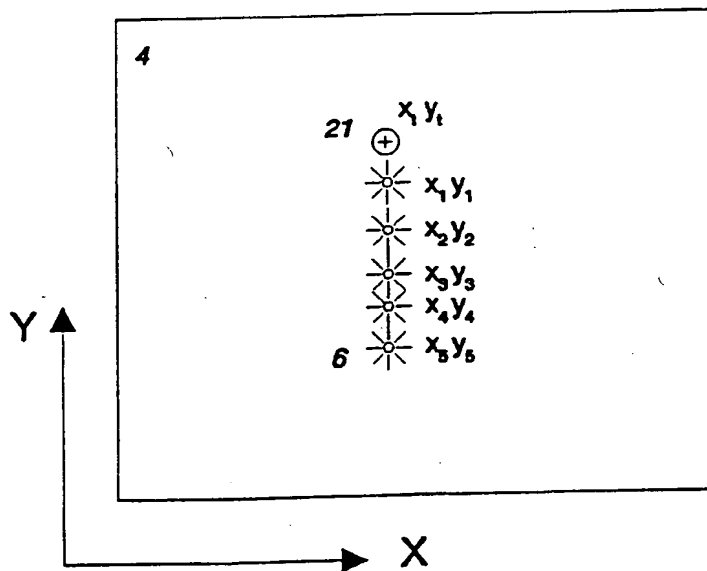


Fig. 5

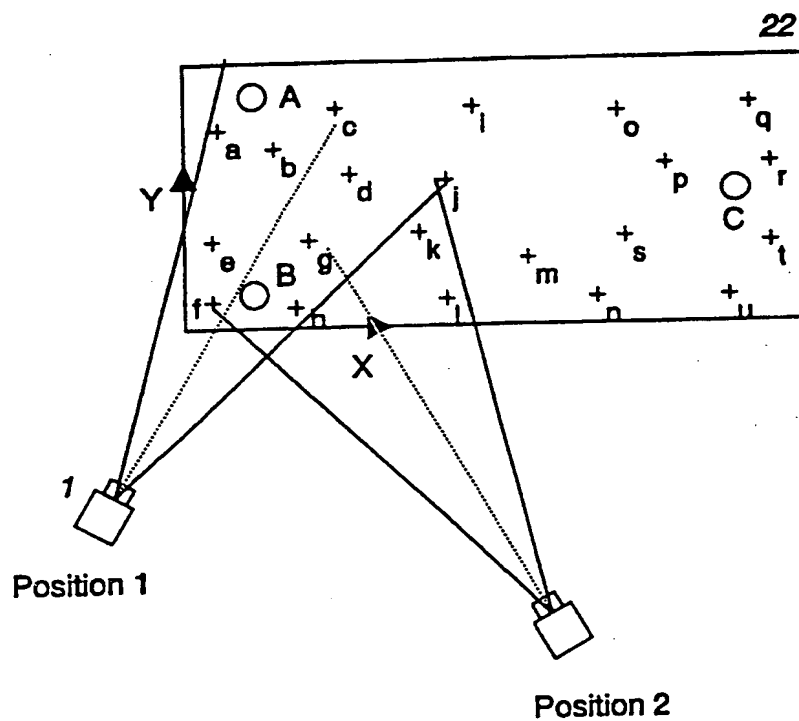


Fig. 6

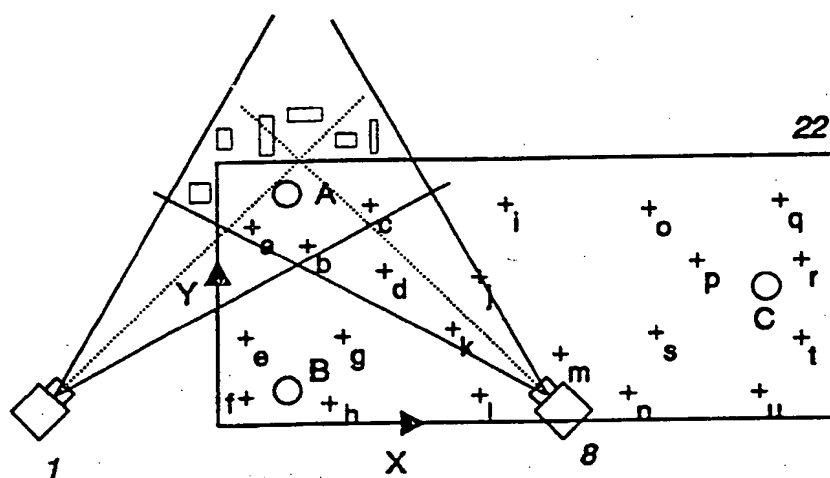


Fig. 7a

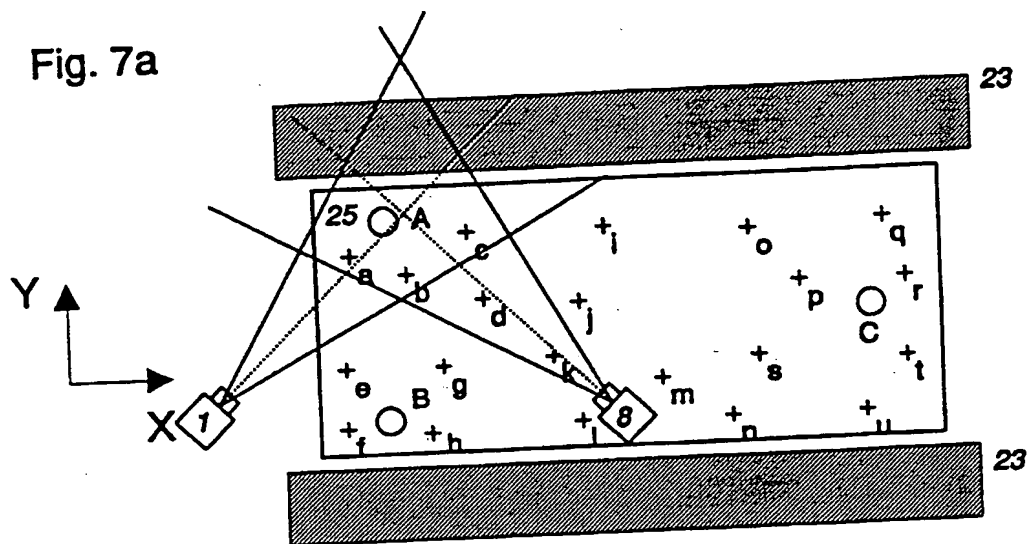


Fig. 7b

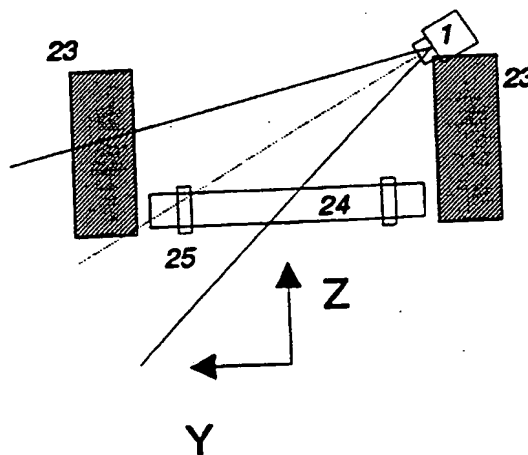


Fig. 8a

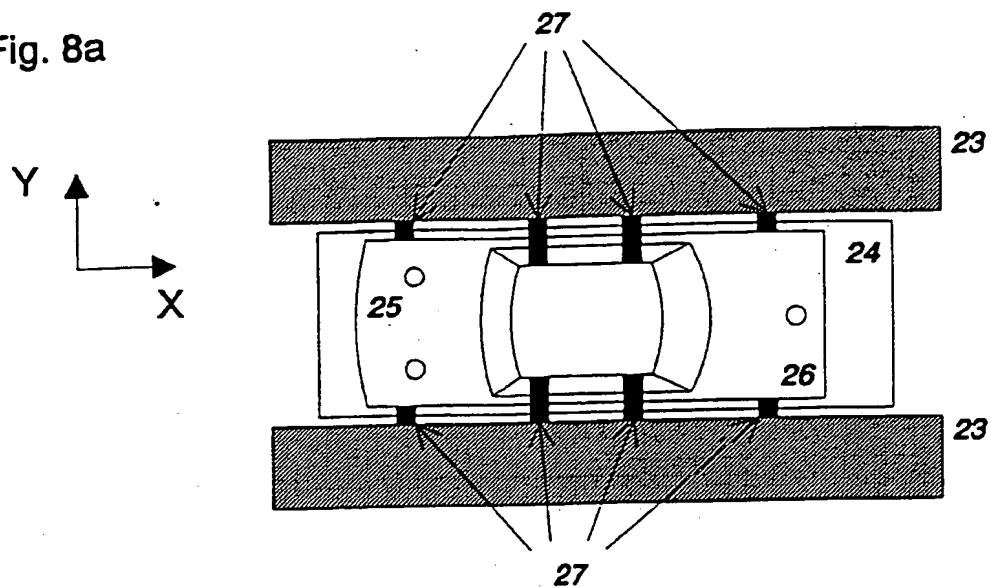
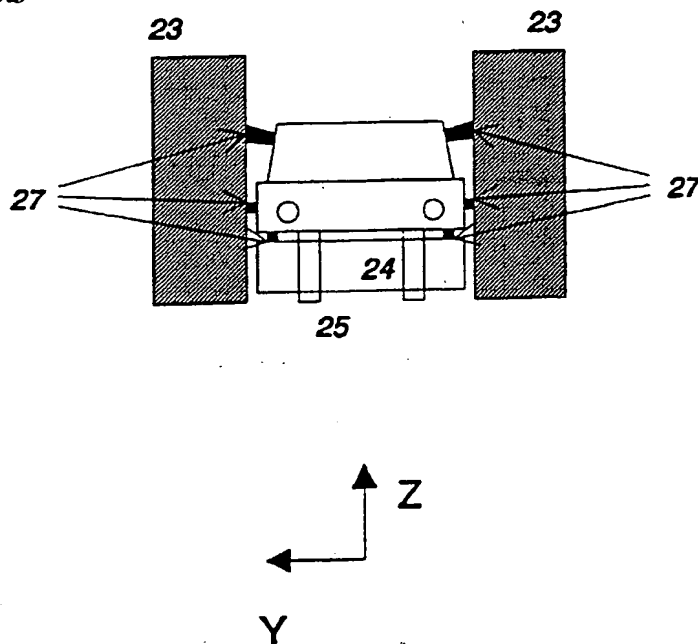


Fig. 8b



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 9

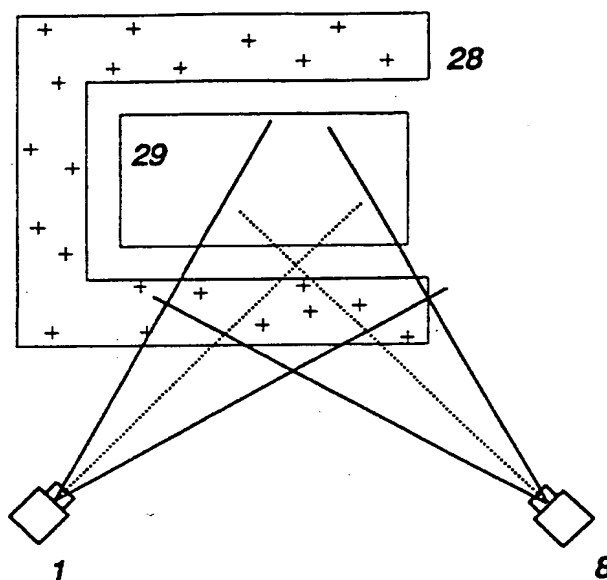


Fig. 10

